



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원번호 : 10-2002-0081472  
Application Number

출원년월일 : 2002년 12월 18일  
Date of Application DEC 18, 2002

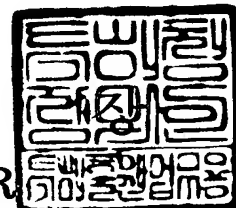
출원인 : 한국전자통신연구원  
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Institute



2003    년    02    월    19    일

특    허    청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0001
【제출일자】	2002.12.18
【발명의 명칭】	다단계 랜딩형 마이크로 미러, 그 제조방법 및 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이
【발명의 영문명칭】	Multi-landing Micromirror, Method for Manufacturing the Same and Multi-landing Micromirror Array
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【성명】	신영무
【대리인코드】	9-1998-000265-6
【포괄위임등록번호】	2001-032061-5
【발명자】	
【성명의 국문표기】	정문연
【성명의 영문표기】	JUNG, Moon Youn
【주민등록번호】	620510-1657711
【우편번호】	305-340
【주소】	대전광역시 유성구 도룡동 주공타운 5동 105호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	전치훈
【성명의 영문표기】	JUN, Chi Hoon
【주민등록번호】	590718-1690812
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 160-1(5/4) 한울아파트 108-404
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	최창익
【성명의 영문표기】	CHOI, Chang Auck

【주민등록번호】	540218-1675413
【우편번호】	305-333
【주소】	대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 102-1001
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김윤태
【성명의 영문표기】	KIM, Yun Tae
【주민등록번호】	570415-1067426
【우편번호】	305-345
【주소】	대전광역시 유성구 신성동 한울아파트 110-106
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 신영무 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	11 면 11,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	9 항 397,000 원
【합계】	437,000 원
【감면사유】	정부출연연구기관
【감면후 수수료】	218,500 원
【기술이전】	
【기술양도】	희망
【실시권 허여】	희망
【기술지도】	희망
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

**【요약서】****【요약】**

본 발명은 다단계 랜딩형 마이크로 미러, 그 제조방법 및 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이에 관한 것으로, 다단계 랜딩형 마이크로 미러는 기판에 형성되며 일측벽에  $N-1$  개의 단차를 갖는 트렌치와, 트렌치 내부 및 상부에서 회전 운동하는  $N$  개의 플레이트들 및  $N$  개의 플레이트들을 서로 연결하는  $2N$  개의 스프링들을 포함하고,  $N$  개의 플레이트들은 최외각 제1 플레이트, 제1 플레이트와 스프링으로 연결되어 내부에 위치하는 제2 플레이트, ..., 제 $N-1$  플레이트와 스프링으로 연결되어 내부에 위치하는 제 $N$  플레이트로 이루어지고,  $N$  개의 플레이트들과 트렌치에 각각 전압이 인가되면, 정전압에 의해 제1 플레이트는 트렌치의 제1 단차에 소정 변위각을 가지며 제1 랜딩되고, 제2 플레이트는 트렌치의 제2 단차에 소정 변위각을 가지며 제2 랜딩되고, ..., 제 $N$  플레이트는 트렌치의 타측벽에 소정 변위각을 가지며 제 $N$  랜딩되는 것을 특징으로 한다. 따라서 정전력의 인가하에 다단계의 구동으로 저전압 구동이 가능하고, 미러의 지지 스프링의 탄성력을 강화시켜 광 스위치의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

**【대표도】**

도 11

**【색인어】**

디지털 미러, 광스위치, MEMS

**【명세서】****【발명의 명칭】**

다단계 랜딩형 마이크로 미러, 그 제조방법 및 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이  
{Multi-landing Micromirror, Method for Manufacturing the Same and Multi-landing  
Micromirror Array}

**【도면의 간단한 설명】**

도 1a 및 도 1b는 종래 기술에 의한 디지털 미러를 설명하기 위한 도면.

도 2a 및 도 2b는 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 3개의 플레이트 및 6개의 스프링을 갖는 마이크로 미러를 설명하기 위한 도면.

도 3은 기판에 형성된 2단 트렌치가  $m \times m$ 의 매트릭스 형태로 배열된 모습을 설명하기 위한 사시도.

도 4는 2단 트렌치 구조를 설명하기 위한 사시도.

도 5는 도 4에 도시된 2단 트렌치에 플레이트 들 및 스프링 들이 부착된 모습을 설명하기 위한 도면.

도 6은 도 5에 도시된 플레이트 들과 스프링 들을 상세하게 도시한 도면.

도 7은 정전력의 인가 하에서 각 플레이트가 운동하는 모습을 설명하기 위한도면.

도 8은 도 7에 도시한 각 플레이트와 스프링의 동작을 역학적으로 설명하기 위한 도면.

도 9는 도 7 및 도 8을 참조하여 설명한 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 동작을 나타내는 도면.

도 10은 본 발명의 다른 실시예에 의한 다단계 액추에이션을 위한 다단계 트렌치 구조.

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 의한 다단계의 액추에이션의 동작을 설명하기 위한 도면.

도 12, 도 13 및 도 14는 본 발명에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러가 제1 및 제2 트렌치에 랜딩된 모습을 나타내는 사진.

#### 【발명의 상세한 설명】

#### 【발명의 목적】

#### 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <13> 본 발명은 2 차원 디지털 마이크로 미러에 관한 것으로서, 특히 다단계 랜딩형 마이크로 미러, 그 제조방법 및 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이에 관한 것이다.
- <14> 마이크로 미러(micro-mirror)를 이용한 광 스위치(optical switch)는 구동방법에 따라 정전기력, 전자기력, 열팽창력 및 물질이 갖는 스트레스의 힘(scratch driving)을 이용하는 등 다양한 힘들이 적용되어지고 있다. 그 중 정전력(electrostatic force)을 이용하는 구동방법은 제작 공정의 간편함, 저 소비전력, 외부 노이즈의 내성 등에서 다른 종류의 액추에이션(actuation) 방법에 비해 강점을 갖는다. 정전력을 이용하는 마이크로 미러는 스프링으로 토오션(torsion) 빔(beam)이 부착된 미러가 흔히 사용된다. 이는 정전압에 비례하여 변위각(displacement angle)이 변하는 원리를 이용한다.
- <15> 종래 기술에 의한 정전력을 이용하는 토오션 미러 형 액추에이션 방법은 다음의 두 가지 응용 예로 분류할 수 있다. 먼저 3 차원 마이크로 미러는 정전력의 세기와 스프링

의 복원력(restoring force)의 세기가 같을 때 얻어지는 변위각을 정밀하게 구현한다. 반면에 2 차원 마이크로 미러는 변위 각도가 0도일 때 스위칭 오프(switching off) 상태이고, 변위 각도가 90도일 때 스위칭 온(switching on) 상태인 디지털 미러(digital mirror)를  $m \times m$  ( $m=1,2,3,\dots,m$ )의 매트릭스 형태로 배치하게 된다. 이러한 디지털 방식의 미러를 기계적으로 지탱하며 복원력의 동력원으로 사용되는 스프링은, 스위칭 속도를 강화시키기 위해 충분히 약해야 한다. 그러나 미러의 복원력에 의한 원위치로 복구하는 속도를 강화하기 위해서는 스프링이 충분히 강해야한다. 따라서 스프링은 이러한 상치된 관계 하에 최적 상태를 갖도록 설계되어야 한다. 또한, 미러는 병진 변위를 일으키지 않도록 강하게 설계되어야 한다. 병진 변위란 변위각을 일으키는 도중에 미러의 중심축이 변하는 것을 의미한다. 이러한 상반된 요구사항이 적절히 만족되도록 스프링의 재질과 치수(dimension), 그리고 미러에 인가되는 전압이 결정되어야 한다.

<16> 이하에서는 도 1을 참조하여 종래 기술에 의한 디지털 미러의 문제점에 대하여 설명한다.

<17> 도 1a 및 도 1b는 종래 기술에 의한 디지털 미러를 설명하기 위한 도면으로써, 도 1a는 디지털 미러의 사시도이고, 도 1b는 디지털 미러의 단면도를 나타낸다. 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 디지털 미러는 플레이트(10), 미러(11), 토오션 스프링(12) 및 트렌치(13)로 구성된다. 디지털 미러는 미러의 양단에 각각 1개씩의 토오션(torsion) 스프링이 부착되어 있고, 토오션 스프링은 스위칭 온(switching on) 시에 각도 90도 만큼의 비틀림 스트레스를 받는다. 이때 전압에 의한 정전력(electrostatic force)과 스프링의 복원력(restoring force)이 일치하는 점에서 미러의 구동 변위각도(displacement angle,

$\theta$ )가 결정된다. 스프링은 스위칭 온 시 정전력에 의해 미러가 90도 회전되도록, 그리고 스위칭 오프 시에는 미러가 충분한 복원력과 빠른 스위칭 스피드를 갖도록 설계되어야 한다. 정전력은 마이크로 미러의 크기가 결정되면 전압이 인가되는 전극과 미러의 거리, 전압의 크기에 따라 결정된다. 그리고 복원력은 스프링의 재질, 폭, 두께 및 길이 등의 스프링 상수와 스프링의 형상에 의해 결정된다.

<18> 이러한 종래 기술에 의한 디지털 미러의 구동 변위 각도가 90도인 경우와 30도인 경우를 비교하여 설명한다.

<19> 미러의 변위를 일으키는 전기적 토오크(electrical torque,  $T_{elec.}$ )는 다음의 수학적 식 1과 같이 표현된다.

<20> **【수학적 식 1】** 
$$T_{elec.} = (1/2) \epsilon_0 W V^2 \int x / [(d/\sin\theta - x)\theta]^2 dx$$

<21> 그리고 스프링의 기계적 토오크( $T_{mech.}$ )는 수학적 식 2와 같이 표현된다.

<22> **【수학적 식 2】** 
$$T_{mech.} = 2(Gwt^3(1 - (192t/\pi^5 w)\tanh(\pi w/2t)))\theta$$

<23> 따라서 필요로 하는 변위각이 크면 전기적 토오크(electrical torque)도 커지므로 큰 인가 전압이 필요해진다. 또한 기계적 토오크에서 인가 전압을 낮추기 위해서는, 스프링의 치수(dimension)중에서 스프링의 폭(w)을 작게 하거나, 길이(l)을 크게 하거나, 두께(t)를 작게 설계하여야 한다. 특히 수학적 식 2에서 기계적 토오크( $T_{mech.}$ )는 스프링 두께의 3승( $t^3$ )에 비례하므로 스프링의 두께를 1/3로 하면 필요한 힘은 1/27로 작게할 수 있다. 따라서 전압은  $1/\sqrt{27}$ 로 낮출 수 있다. 그러나, 스프링의 두께를 1/3로 하면 미러의 중심축이 이동할 우려가 있다. 또한 스위치 오프 시에 복원력의 감소에 의해 스위치 오프의 속도를 감소시키는 문제가 발생한다.



<24> 토오션 스프링(12)은 90도 만큼의 비틀림 스트레스를 견뎌야 하며, 그러한 스트레스 상태에서 미러의 중심축의 이동이 없도록 하는 것은 대단히 어렵다. 또한, 미러를 90도 회전시키기 위해 큰 전압이 소요되며 이에 따른 구동의 어려움 및 정전 아크 발생 가능성이 제기되고 있다. 90도 뒤틀림 스트레스에 따른 스프링의 피로 현상 등도 신뢰성에 영향을 미친다. 현재 스프링 하나에 미러 하나(one pair)의 구조를 갖는 디지털 미러는 허용 전압의 제한 때문에 스프링이 충분한 기계적 강도를 갖지 못하는 문제가 있다.

**【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】**

<25> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 마이크로 미러의 스프링을 현저히 강화시켜 스위칭의 신뢰성을 향상하고 저전압 구동을 가능하게 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러, 그 제조방법 및 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이를 제공하는데 있다.

**【발명의 구성 및 작용】**

<26> 상기 과제를 이루기 위해, 본 발명에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러는, 기판에 형성되며 일측벽에  $N-1$  개의 단차를 갖는 트렌치와, 트렌치 내부 및 상부에서 회전 운동하는  $N$  개의 플레이트들 및  $N$  개의 플레이트들을 서로 연결하는  $2N$  개의 스프링들을 포함하고,  $N$  개의 플레이트들은 최외각 제1 플레이트, 제1 플레이트와 스프링으로 연결되어 내부에 위치하는 제2 플레이트, ..., 제 $N-1$  플레이트와 스프링으로 연결되어 내부에 위치하는 제 $N$  플레이트로 이루어지고,  $N$  개의 플레이트들과 트렌치에 각각 전압이 인가되면, 정전압에 의해 제1 플레이트는 트렌치의 제1 단차에 소정 변위각을 가지며 제1 랜딩되고, 제2 플레이트는 트렌치의 제2 단차에 소정 변위각을 가지며 제2 랜딩되고, ..., 제 $N$  플레이트는 트렌치의 타측벽에 소정 변위각을 가지며 제 $N$  랜딩되는 것이 바람직하다.

- <27>       상기 과제를 이루기 위해, 본 발명에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 제조방법은, 일측벽에  $N-1$  개의 단차를 갖는 트렌치를 기판 내부에 형성하는 단계, 기판 상부 및 트렌치 내부에 제1 절연막을 형성하는 단계, 기판 상부 및 트렌치 내부에 도전막을 증착하고 패터닝하여, 트렌치 내부 및 주변에 전극층을 형성하는 단계, 기판 상부 및 트렌치 내부에 제2 절연막을 형성하는 단계, 트렌치 상부 및 주변에 실리콘층을 부착하는 단계 및 실리콘 층을 식각하여  $N$  개의 플레이트들 및  $2N$  개의 스프링들을 형성하는 단계를 포함하는 것이 바람직하다.
- <28>       상기 과제를 이루기 위해, 본 발명에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이는 다단계 랜딩형 마이크로 미러가  $m \times n$  의 매트릭스 형태로 동일 평면 상에 배열되어, 입사광에 대해 다수개의 반사광을 얻도록 하는 것이 바람직하다.
- <29>       이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세하게 설명하기로 한다. 그러나, 이하의 실시예는 이 기술 분야에서 통상적인 지식을 가진 자에게 본 발명이 충분히 이해되도록 제공되는 것으로서 여러 가지 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 다음에 기술되는 실시예에 한정되는 것은 아니다.
- <30>       먼저 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 디지털 미러용 액츄에이터의 구조를 설명한다. 도 2a 및 도 2b는 3 개의 플레이트가 각각 2 개의 스프링을 갖는 디지털 미러의 개략도로서, 도 2a는 사시도를, 도 2b는 단면도를 나타낸다. 미러 구동용 액츄에이터의 구성 요소는 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데, 각 플레이트들이 운동하는 공간 영역으로서의 트렌치 부분과 정전력 및 복원력하에서 회전하는 주체로서의 각 운동 부분들이다.

<31> 첫째, 운동 부분은 플레이트 들과 각 플레이트의 양변에 연결된 스프링 들로 나눌 수 있다. 플레이트 들은 제1 플레이트(20), 제2 플레이트(21), 제3 플레이트(22) 및 제4 플레이트(23)로 이루어지고, 스프링은 제1 스프링(24), 제2 스프링(25) 및 제3 스프링(26)으로 이루어진다. 제1 플레이트(20)는 액츄에이터의 지지층으로 어떠한 운동이 없고, 제1 스프링(24)은 제1 플레이트(20)의 양 변에 부착되어 제1 플레이트(20)와 제2 플레이트(21)를 기계적 및 전기적으로 연결하며 30도의 비틀림 스트레스를 받는다. 제2 플레이트(21)는 제1 플레이트(20)의 내부에 위치하며 정전력에 의해 제1 플레이트(20)에 대해 각도 30도( $\theta_1$ )의 회전운동을 하고, 제2 스프링(25)은 제2 플레이트(21)의 양 변에 부착되어 제2 플레이트(21)와 제3 플레이트(22)를 기계적 및 전기적으로 연결하며 30도의 비틀림 스트레스를 받는다. 제3 플레이트(22)는 제2 플레이트(21)의 내부에 위치하며 정전력에 의해 제2 플레이트(21)에 대해 각도 30도( $\theta_2$ )의 회전운동을 하고, 제3 스프링(26)은 제3 플레이트(22)의 양 변에 부착되어 제3 플레이트(22)와 제4 플레이트(23)를 기계적 및 전기적으로 연결하며 30도의 비틀림 스트레스를 받는다. 제4 플레이트(23)는 미러 플레이트로써 제3 플레이트(22)에 대해 30도( $\theta_3$ )의 회전운동을 한다. 상술한 구성 요소중 제1 플레이트(20)를 제외한 나머지 플레이트 들 및 스프링 들은 트렌치(27)의 상부 혹은 내부에서 운동하게 된다.

<32> 둘째, 트렌치(27)는 내부의 깊이가 서로 다른 2단으로 이루어져 있다. 트렌치(27)에는 전압을 인가함으로써 정전력을 일으키기 위한 금속 전극이 형성되어 있다.

<33> 이하, 도 3 및 도 4를 참조하여 2단 트렌치에 대하여 더욱 상세하게 설명한다.

<34> 도 3은 기판에 형성된 2단 트렌치가  $m \times n$  의(이때,  $m$  및  $n$  은 자연수이다.) 매트릭스 형태로 배열된 모습을 설명하기 위한 사시도이다. 기판(30)은 실리콘 혹은 유리 기

판일 수 있으며, 도 3은 기판에 2단 트렌치가 2 X 2 개 만이 배열된 모습을 나타낸 것이다.

<35> 도 3을 참조하면, 2단 트렌치 들 및 기판의 전체 구조 상부면에 제1 절연막(31)이 형성되어 있고, 각 2단 트렌치의 내부 및 주변에는 제1 전극층(32)이 형성되어 있다. 그리고 제1 전극층(32)은 제1 전극(33)과 연결되어 있다. 도 3에 도시된 2단 트렌치 구조를 형성하는 방법을 설명한다. 기판 상에 2단 트렌치 구조의 형성은 딜레이 마스크(delay mask) 공정법("delay-masking process for Silicon Three-Dimensional Bulk Structures" Trans.IEE J(section E), 1999) 등으로 형성할 수 있다. 2단 트렌치 구조를 형성하고 난 후, 제 1절연막(31)을 트렌치의 내부 및 외부 전 기판 상에 형성한다 그리고, 금속 박막을 전 기판 상에 증착한 후 패터닝하여 제1 전극층(32)을 형성한다. 제 1 전극층(32)은 2단 트렌치 구조 중 얇은 트렌치 및 깊은 트렌치, 그리고 트렌치 내부의 모든 측벽에 전기적인 단절이 없도록 형성한다. 제 1절연막(31)은 제 1전극(33)에 인가된 전압이 인접 소자 및 기판과 전기적으로 절연되도록 하기 위함이다.

<36> 이렇게 하여 형성된 2단 트렌치를 도 4에 더욱 상세히 도시하였다. 도 4는 2단 트렌치 구조를 설명하기 위한 사시도이다. 2단 트렌치 구조는 얇은 깊이의 제1 트렌치 부분(34)과 깊은 깊이의 제2 트렌치 부분(35)으로 구분할 수 있다. 제1 트렌치 부분(34)은 도 2에 도시한 제 2플레이트(21)의 회전각을 30도로 제한하며, 제2 트렌치 부분(35)은 제 3플레이트(22)의 회전각을 60도로 제한한다. 제2 트렌치 부분(35)의 한쪽 측벽(36)은 제 4플레이트(23)를 90도 만큼 회전 하도록 제한한다. 도 4에 도시된 2단 트렌치 구조의 전체 상부에 제 2 절연막(33)을 증착할 수 있다. 제 2 절연막(33)은 전도성인 제 2, 3 및 4 플레이트가 트렌치 상부에서 트렌치 내부로 운동할 때 제1 전극층(32)에 인가

된 전압으로 인해 아킹(arcing)이 발생하여 플레이트와 전극이 손상되는 것을 방지하기 위함이다.

<37> 이하에서는 도 5 및 도 6을 참조하여 2단 트렌치에 각 플레이트 및 스프링이 부착된 모습을 설명한다.

<38> 도 5는 도 4에 도시된 2단 트렌치에 플레이트 들 및 스프링 들이 부착된 모습을 설명하기 위한 도면이다.

<39> 도 5를 참조하면, 제1 플레이트(20)에 제1 스프링(24)이 연결되어 있다. 제1 스프링(24)의 다른 쪽 에는 제2 플레이트(21)가 연결되어 있고, 이렇게 각각 제2 스프링(25) 및 제3 스프링(26)을 매개로 하여 제3 플레이트(22) 및 제4 플레이트(23)가 연결되어 있다.

<40> 기판에 각 플레이트 들과 스프링 들을 형성하는 방법에 대하여 설명한다. 기판(30)상의 제 2 절연막(도 5에서는 미도시) 위에 접착층(미도시)을 형성하고 트렌치 내부의 접착층을 패터닝하여 제거한다. 트렌치 내부에는 공기를 제외한 어떤 물질도 제2, 3 및 4 플레이트의 회전 운동에 장애를 줄 수 있기 때문에 접착층은 트렌치 내부에 있어서는 안된다. 이렇게 접착층을 패터닝 한 후, 실리콘층을 부착하고 폴리싱하여 소정 두께로 가공한다. 이때, 실리콘층은 50~620um 두께의 실리콘 기판을 적정한 열과 압력 하에 부착한다. 그리고 실리콘 층을 식각하여 제2, 3 및 4 플레이트(21,22,23)와 제1, 2 및 3 스프링(24,25,26)을 형성한다. 도 5에서는 표현의 편의상 제1 플레이트와 기판위에 형성된 접착층 패턴은 도시하지 않았다.

<41> 도 6은 도 5에 도시된 플레이트 들과 스프링 들을 상세하게 도시한 도면이다.

<42> 도 6을 참조하면, 제1 스프링(24)은 제1 플레이트(20)와 제2 플레이트(21)를 기계적, 전기적으로 연결하고, 제2 스프링(25)은 제2 플레이트(21)와 제3 플레이트(22)를 기계적, 전기적으로 연결한다. 마찬가지로, 제3 스프링(26)은 제3 플레이트(22)와 미러인 제4 플레이트(23)를 기계적, 전기적으로 연결한다. 도 6에 도시된 각 스프링 들은 미엔더(meander)형 스프링으로, 도 1에 도시된 토오션 빔 스프링과는 다른 형태이다. 그러나 미엔더형 스프링은 토오션 빔 형태보다 스프링의 폭 및 두께 등을 강화시킬 수 있는 장점이 있으며, 각 플레이트 사이의 좁은 공간 하에서 스프링 기능을 수행하기에 적합한 형태이기도 하다. 만일 토오션 빔 형태를 적용하면 각 플레이트 사이가 멀어지며, 결과적으로 전체 액츄에이터 면적당 미러가 차지하는 비, 즉 필 팩터(fill factor)가 작아지게 된다. 따라서 미러 사이가 멀어져 광 경로를 증가시켜 광 손실을 증가시키는 문제를 야기할 수 있다. 본 발명은 미엔더 형 또는 토오션 빔 형과 미엔더 형을 조합하는 복합형 등 여러 형태의 스프링을 이용할 수 있으며 스프링의 종류에 발명의 제한을 두지 않는다.

<43> 이상 디지털 미러의 구동을 위한 액츄에이터의 구성을 설명하였고, 이하에서는 액츄에이터가 운동을 하는 작용의 원리를 설명한다.

<44> 도 7은 정전력의 인가 하에서 각 플레이트가 운동하는 모습을 설명하기 위한도면이다. 도 7에서 운동하지 않는 제1 플레이트와 각 스프링은 도시하지 않았다.

<45> 도 7을 참조하면, 제2 플레이트(21), 제3 플레이트(22) 및 제4 플레이트(23)는 접지되어 있다. 편의상 트렌치 부분에 전압을 인가하기 위한 금속층을 제1 전극(도 4의 참조번호 32)이라하고, 제1 전극의 대향으로서 제1 플레이트에 전압을 인가하면 제1플레이트는 제2~4 플레이트와 전기적으로 연결되었기 때문에 트렌치 내부로의 운동이 가능한

제2~4 플레이트는 트렌치 내부와 정전력을 느끼게 된다. 이때  $m \times n$ 개의 각 스위치 어레이는 상부 전체가 전기적으로 연결된 제1 플레이트 그 자체가 되며, 각 스위치 어레이의 어느 한 전극에 전압을 인가하면  $m \times n$  스위치 어레이는 공통전압을 갖게 된다. 이 각 스위치 어레이의 전극을 제2 전극이라 한다. 일반적으로 제2 전극은 접지하며, 제1 전극에 전압을 인가하여 정전력을 일으킬 수 있다. 제1 전극에 인가된 전압은 플레이트의 어느 부분과도 전기적으로 절연되어 있는데, 이는 트렌치 부분의 전극이 절연막으로 증착되어 있기 때문이다. 이제 제 1전극에 DC 전압이 인가되면 각 플레이트들은 전기적으로 연결되었기 때문에 2단 트렌치와 각 플레이트 사이에는 전기장이 형성된다. 그리고 동적 가능 상태 하에 있는 각 플레이트는 제 1전극쪽으로 정전 인력을 받게 된다. 이중 제4 플레이트(23)는 깊은 트렌치(deep trench)(35)와의 전기적 인력이, 제2 플레이트(21)는 얇은 트렌치(shallow\_trench)(34)와의 전기적 인력이 주요하게 작용한다. 그리고 제3 플레이트(22)는 깊은 트렌치(35)와 얇은 트렌치(34)의 두 경우에 대해 비슷한 비율로 힘을 받도록 설계되어 있다. 제 2플레이트(21)는 트렌치와의 거리가 제 4 플레이트(23) 보다 짧기 때문에 면적당 받는 정전력은 더욱 강하다. 따라서, 2단 트렌치가 아닌 종래의 단순 트렌치 보다는 작은 정전력, 즉 작은 전압으로도 쉽게 제 2플레이트(21)는 얇은 트렌치(34)에 랜딩(landing)할 수 있다. 이것을 제1 랜딩(1차 액츄에이션)이라 한다. 제2 플레이트(21) 내에 위치한 제3 및 제4 플레이트(22,23)는 제2 및 제3 스프링(25,26)에 의해 기계적으로 연결되었기 때문에, 제2

플레이트(21)의 랜딩(landing)에 맞춰 제2 플레이트의 랜딩 각도인 30도 만큼의 회전 운동을 하게 된다. 각 플레이트의 회전각이 30도를 이루도록 하기 위하여 2단 트렌치의 깊이와 폭은 각 플레이트의 길이 및 두께 등을 고려하여 설계하였다. 이후, 제3 플레이트(22)의 랜딩(제2 랜딩; 2차 액츄에이션)과 제4 플레이트(23)의 랜딩(제3 랜딩; 3차 액츄에이션)도 동일한 원리로 순차적으로 랜딩한다. 제3 플레이트(22)는 깊은 트렌치에, 제4 플레이트(23)는 깊은 트렌치의 한 측벽에 순차적으로 랜딩한다.

<46> 도 8은 도 7에 도시한 각 플레이트와 스프링의 동작을 역학적으로 설명하기 위한 도면이다.

<47> 도 8을 참조하면, 각 단계는 정전력이 인가되어 플레이트의 랜딩이 이루어질 때 각 랜딩 순간에서의 스프링과 플레이트의 연결 상태를 가상적으로 표현한 것이다. 도 8에서 질량 M1은 제 2 플레이트, M2는 제 3플레이트, M3는 제 4플레이트를 나타낸다. 스프링은 각 플레이트의 양변에 한 개씩 구비하고 있기 때문에 각 질량은 두 개의 스프링으로 다른 질량에 기계적으로 연결되어 있다. 제1 단계는 정전력이 인가되지 않는 상태이다. 제2 단계는 제 2전극에 전압을 인가하면 제 2플레이트가 얇은 트렌치에 랜딩한 상태를 표현하였다. 제2 단계에서 질량 M1이 사라진 이유는, 랜딩을 완료함으로써 제2 플레이트는 마치 고정된 벽에 붙어 있어 제1 스프링이 사라지는 것과 같기 때문이다. 그래서 제1 랜딩 후의 역학적인 계는 M2, M3만이 스프링에 부착되어 있는 것과 같다. 도 8에서 점선으로 표현된 질량과 스프링은 랜딩 후 사라지는 것과 같은 현상을 나타낸 것이고, 실선으로 표현된 질량과 스프링은 현재의 물리적인 구실을 하는 계임을 나타낸 것이다. 다만 여기서 "사라진다"함은 물리적(physical)으로 존재하지 않음과 같다는 것이지 기계공학적으로 사라지는 것은 아니다.



- <48> 제3 단계는 계속되는 정전압 하에서 제3 플레이트가 랜딩 완료한 제2 플레이트를 지지점으로 깊은 트렌치에 제2의 랜딩 완료한 상태를 나타낸 것이다. 결국 제3 플레이트인 M2와 제2 스프링이 사라지고, 제4 플레이트인 미러와 제3 스프링만이 홀로 역학적 계에 존재하는 것으로 표현할 수 있다. 이후, 미러인 제4 플레이트는 깊은 트렌치의 측벽에 걸린 전압에 의한 전기적 인력을 받아 측벽에 랜딩하여 기관의 표면에서 90도의 각도로 제3 랜딩을 완료하게 된다. 이는 제4 단계에서 표현한 것과 같이 모든 질량과 스프링이 사라지고, 운동성이 존재하는 역학적 계는 이미 아닌 상태가 된다. 이때 최종 스위칭 온(switching on)이 완료된 상태이다.
- <49> 도 9는 도 7 및 도 8을 참조하여 설명한 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 동작을 나타내는 도면이다.
- <50> 도 9의 각 단계는 도 8의 각 단계와 동일한 단계를 나타낸다. 도 9에서 제1 단계는 정전력이 인가되지 않은 상태에서 제2 플레이트가 제3 및 제4 플레이트를 내장하고 있는 모습을 나타낸다. 제2 단계의 제2 플레이트도 제1 랜딩 상태에서 제3 및 제4 플레이트를 내장하고 있다. 제3 단계의 제3 플레이트는 제2 랜딩 상태에서 제4 플레이트를 내장하고 있는 모습을 나타낸다. 제4 단계는 제4 플레이트가 제3 랜딩을 완료한 상태를 나타낸다. 이와 같이 3번의 랜딩으로 제4 플레이트인 미러는 최종적으로 90도의 회전각을 가지면서 스위칭 온 상태를 종료한다. 즉, 제1 랜딩 각도( $\theta_1=30^\circ$ ), 제2 랜딩 각도( $\theta_2=30^\circ$ ) 및 제3 랜딩 각도( $\theta_3=30^\circ$ )를 합한 총 회전 변위 각도는 90도가 된다. (총 회전 변위 각도 =  $\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 90^\circ$ ) 제 3 랜딩은 트렌치의 수직벽면이 일으키는 정전기력에 의해 수직하게 고착되도록 설계된다. 본 발명은  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  가 각 다른 값을 가질 수 있으므로 각 랜딩이 30도가 아닌 어떤 값에도 제한을 두지 않는다. 또한, 총 변

위각도는 90도가 아닌 어떤 각도도 가능하다. 본 발명은 총 변위각을 나누어 순차적으로 회전 동작시켜 목적하는 총 변위각에 도달할 수 있기 때문이다.

<51> 이하, 본 발명의 다른 실시예에 의한 다단계의 액츄에이션에 대하여 도 10 및 도 11을 참조하여 설명한다.

<52> 도 10은 본 발명의 다른 실시예에 의한 다단계의 액츄에이션을 위한 다단계 트랜치 구조이고, 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 의한 다단계의 액츄에이션의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

<53> 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여는 상술한 바와 같이 제1,2,3차 랜딩을 갖는 액츄에이터를 예를 들어 설명했지만 보다 확장된 n차 랜딩도 가능하다. 즉, 도 10을 참조하면, 트랜치는 n-1 개의 단차를 가지며, 플레이트 들은 n차 랜딩을 하게 된다. 그리고 도 11을 참조하면, 다단계의 액츄에이터는 회전 변위 운동을 하는 n 개의 플레이트 및 2n 개의 스프링을 포함한다. 따라서 n 개의 플레이트는 각각 1차 랜딩, 2차 랜딩, ..., n차 랜딩을 하고, 각각 변위 각도  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 을 갖는다. 이러한 구조로써 각 플레이트의 연속적인 작은 변위의 회전운동의 합으로 목적하는 총회전각을 가지는 디지털 미러를 구성할 수 있다.

<54> 이하, 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 3차 랜딩형 마이크로 미러의 동작을 도 12, 도 13 및 도 14를 참조하여 설명한다.

<55> 도 12, 도 13 및 도 14는 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 3차 랜딩형 마이크로 미러가 제1 및 제2 트랜치에 랜딩된 모습을 나타내는 사진이다.

<56> 도 12, 도 13 및 도 14는 제4 플레이트를 제거한 후, 스위칭 온 상태에서 제2 플레이트는 제1 트렌치에, 제3 플레이트는 제2 트렌치에 각각 랜딩된 모습을 나타낸 것이다. 도 12 및 도 13에서 "A" 및 "B"는 각각 제2 플레이트와 제3 플레이트를 나타낸다. 도 12는 150 $\mu$ m의 깊이를 갖는 제2 트렌치 하부에 초점거리로 두어 CCD 카메라로 촬영한 것이다. 도 13은 플레이트의 초점거리를 제 2플레이트의 가장 높은 지점을 택하여 CCD 카메라로 촬영한 것이다. 도 14는 제4 플레이트가 존재한 상태에서 제4 플레이트의 가장 높은 지점을 초점거리로 하여 촬영한 것이다. 도 14에서 "C"는 제4 플레이트를 나타낸다. 도 12 내지 14를 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러가 3개의 플레이트와 6개의 스프링을 가지며 정전력하에서 동작할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 이를 확장하여 n개의 플레이트를 갖는 다단계 랜딩형 마이크로 미러도 가능하게 된다.

#### 【발명의 효과】

<57> 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러, 그 제조방법 및 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이는, 정전력의 인가하에 다단계의 구동으로 저전압 구동이 가능하고, 미러의 지지 스프링의 탄성력을 강화시켜 광 스위치의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

<58> 즉, 본 발명의 바람직한 실시예는 30도의 비틀림을 받는 스프링을 도 9와 같이 3단계에 걸쳐 회전시키면서 총 회전각도 90도를 이루므로, 종래 90도 회전각을 위해 한 개의 스프링이 비틀림 스트레스를 감당하는 것 보다 3개의 스프링이 30도 만큼씩 나누어 감당한다. 따라서 첫째, 스프링의 반복 동작에 따른 내구성이 증가하고, 둘째, 1개의 스프링을 사용할 때보다도 스프링의 폭, 두께 등의 크기를 크게 함으로서 회전 운동 시 미

러 축의 병진운동의 제어력이 증가되고, 셋째, 스프링의 폭, 두께 등을 크게 함으로서 복원력을 크게 하여 스위칭 오프 속도를 빠르게 하여 더 빠른 AC구동을 가능하게 하는 효과가 있다.

<59> 이상, 본 발명의 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상의 범위내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 변형이 가능하다.

## 【특허청구범위】

## 【청구항 1】

기판에 형성되며 일측벽에  $N-1$  개의 단차를 갖는 트렌치;

상기 트렌치 내부 및 상부에서 회전 운동하는  $N$  개의 플레이트들; 및

상기  $N$  개의 플레이트들을 서로 연결하는  $2N$  개의 스프링들을 포함하고,

상기  $N$  개의 플레이트들은 최외각 제1 플레이트, 상기 제1 플레이트와 스프링으로 연결되어 내부에 위치하는 제2 플레이트, ..., 상기 제 $N-1$  플레이트와 스프링으로 연결되어 내부에 위치하는 제 $N$  플레이트로 이루어지고,

상기  $N$  개의 플레이트들과 상기 트렌치에 각각 전압이 인가되면, 정전압에 의해 상기 제1 플레이트는 상기 트렌치의 제1 단차에 소정 변위각을 가지며 제1 랜딩되고, 상기 제2 플레이트는 상기 트렌치의 제2 단차에 소정 변위각을 가지며 제2 랜딩되고, ..., 상기 제 $N$  플레이트는 상기 트렌치의 타측벽에 소정 변위각을 가지며 제 $N$  랜딩되는 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러.

## 【청구항 2】

제1 항에 있어서, 상기  $N$  개의 플레이트들 중 제1 플레이트, 제2 플레이트, ..., 제 $N-1$  플레이트는 각각 사각형의 고리모양인 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러.

## 【청구항 3】

제1 항에 있어서, 상기 제 $N$  플레이트는,

사각형의 모양을 갖는 미러인 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러.

**【청구항 4】**

제1 항에 있어서, 상기  $2N$  개의 스프링들은,

미엔더 형, 토오션 빔 형 또는 상기 미엔더 형과 토오션 빔 형의 복합형인 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러.

**【청구항 5】**

제1 항에 있어서, 상기 제1 랜딩의 변위각, 제2 랜딩의 변위각, ..., 제 $N$  랜딩의 변위각을 합한 총 변위각은  $90^\circ$  인 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러.

**【청구항 6】**

제1 항에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 제조방법에 있어서,

- (a) 일측벽에  $N-1$  개의 단차를 갖는 트렌치를 기판 내부에 형성하는 단계;
- (b) 상기 기판 상부 및 트렌치 내부에 제1 절연막을 형성하는 단계;
- (c) 상기 기판 상부 및 트렌치 내부에 도전막을 증착하고 패터닝하여, 상기 트렌치 내부 및 주변에 전극층을 형성하는 단계;
- (d) 상기 기판 상부 및 트렌치 내부에 제2 절연막을 형성하는 단계;
- (e) 상기 트렌치 상부 및 주변에 실리콘층을 부착하는 단계; 및
- (f) 상기 실리콘 층을 식각하여  $N$  개의 플레이트들 및  $2N$  개의 스프링들을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 제조방법.

**【청구항 7】**

제6 항에 있어서, 상기 기판은,

유리 또는 실리콘 기판인 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 제조 방법.

**【청구항 8】**

제6 항에 있어서, 상기 (e) 단계 후에,

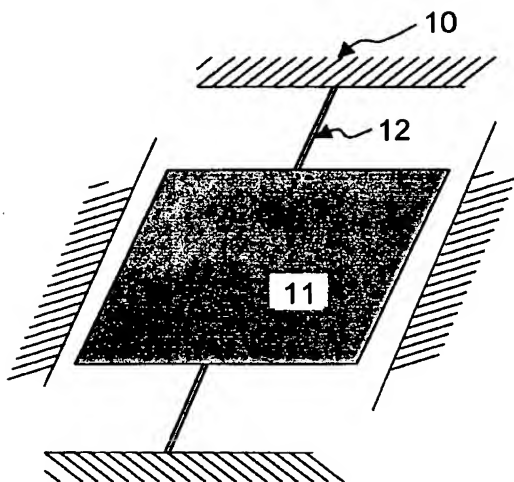
상기 실리콘층을 연마하여 50~620 $\mu\text{m}$  두께로 가공하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러의 제조방법.

**【청구항 9】**

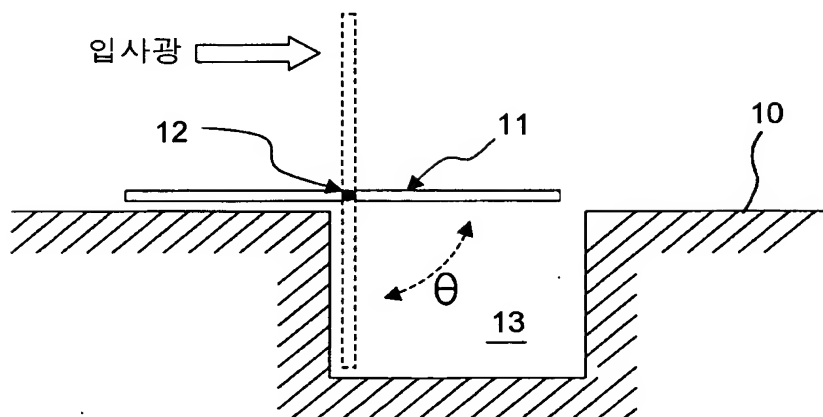
제1 항에 의한 다단계 랜딩형 마이크로 미러가  $m \times n$  의 매트릭스 형태로 동일 평면 상에 배열되어, 입사광에 대해 다수개의 반사광을 얻도록 하는 것을 특징으로 하는 다단계 랜딩형 마이크로 미러 어레이.

## 【도면】

【도 1a】



【도 1b】

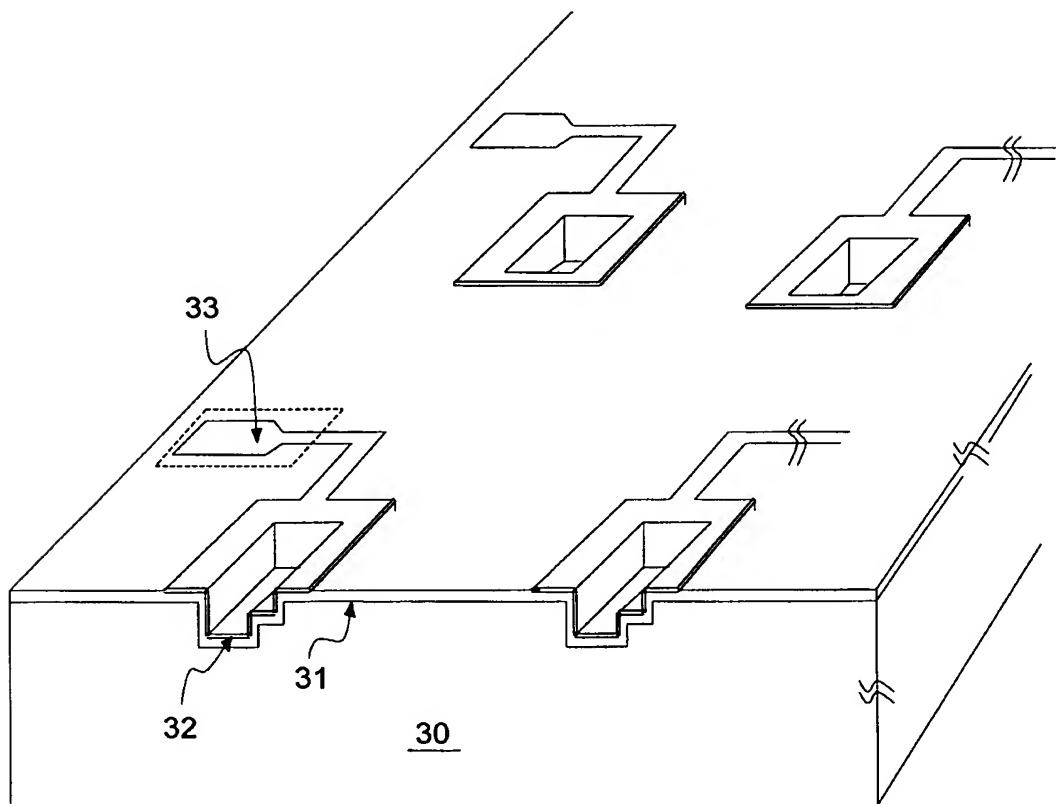


BEST AVAILABLE COPY



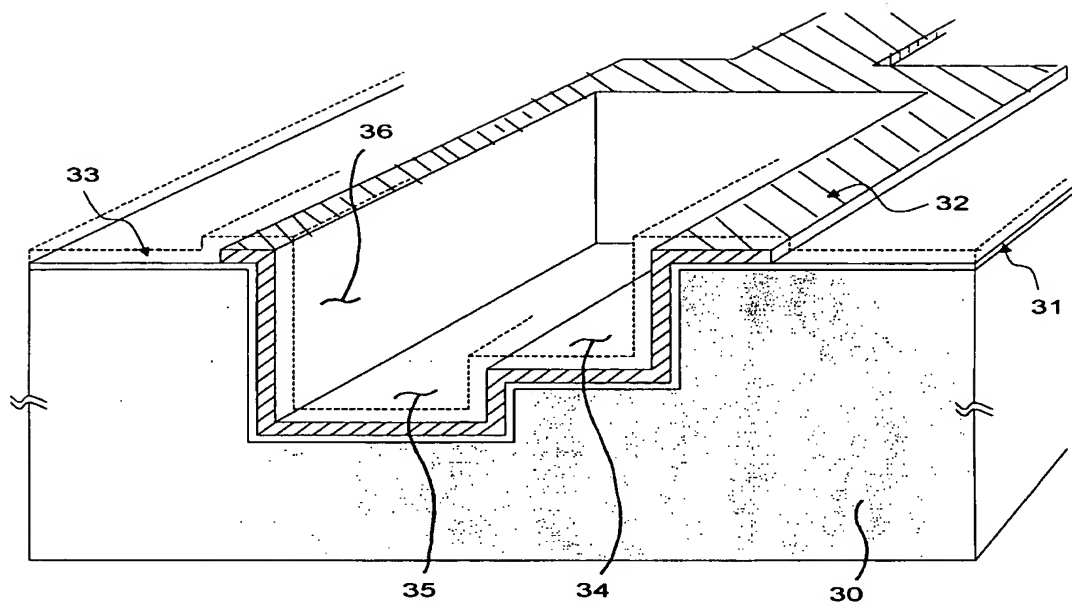


【도 3】

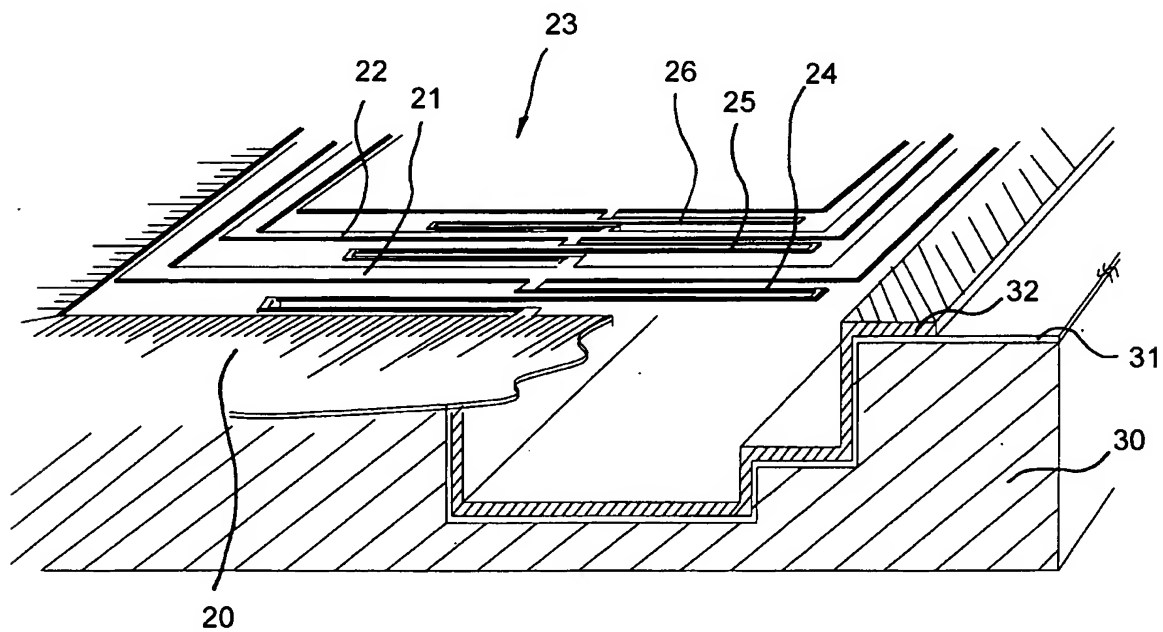


BEST AVAILABLE COPY

【도 4】

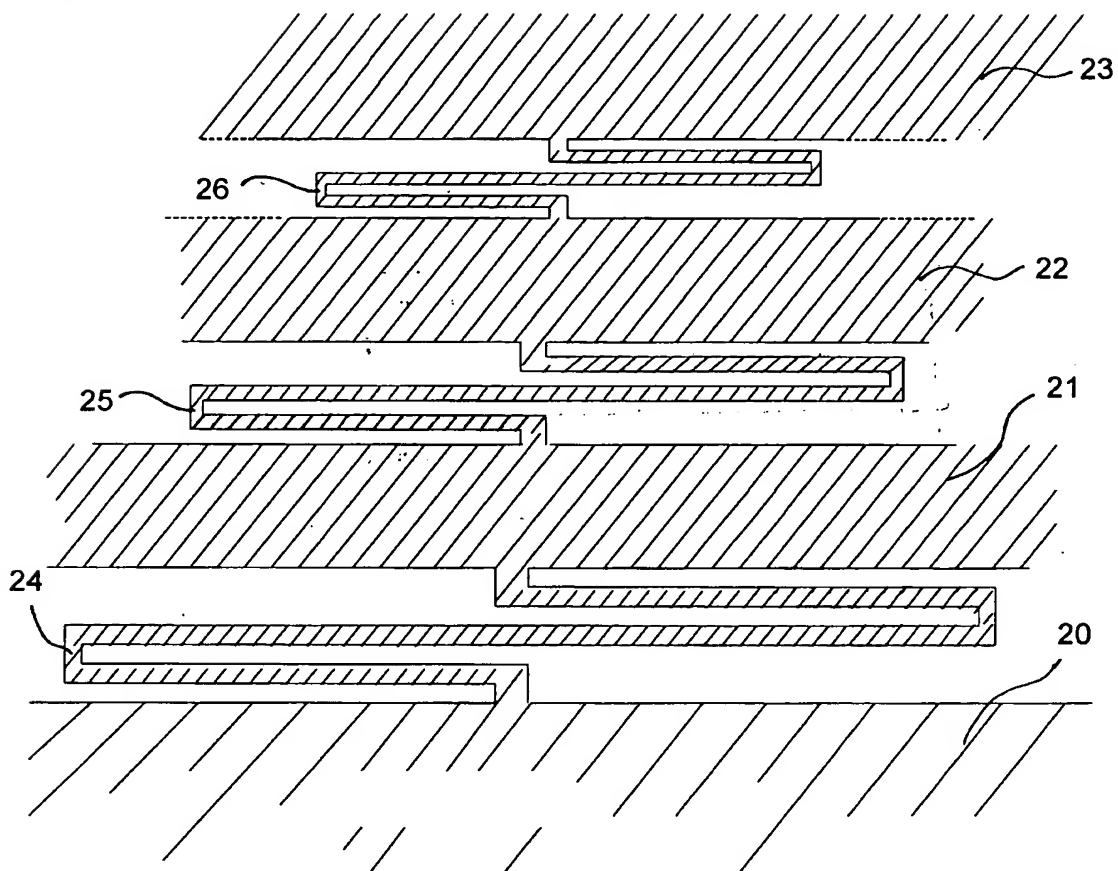


【도 5】



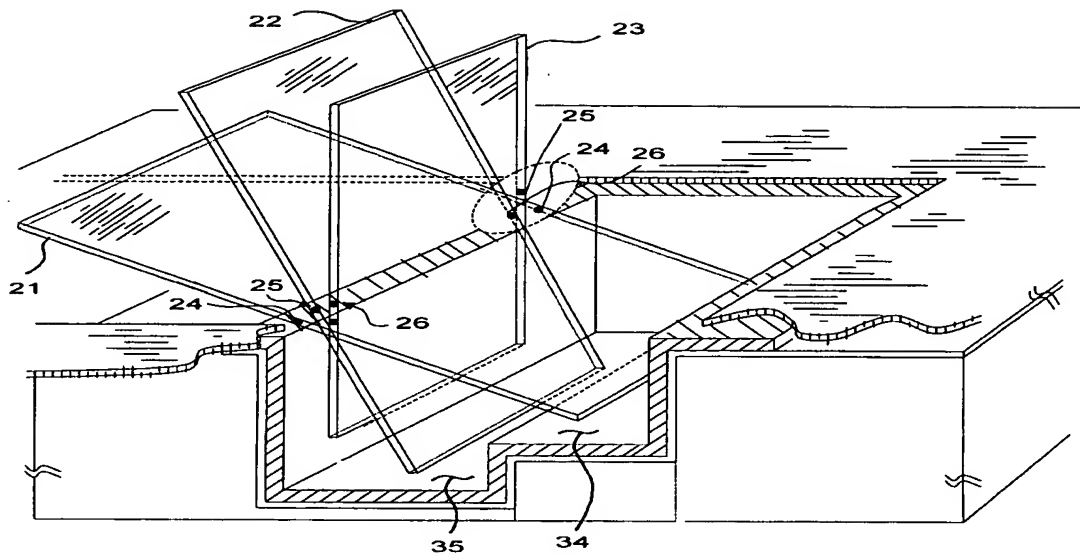
BEST AVAILABLE COPY

【도 6】

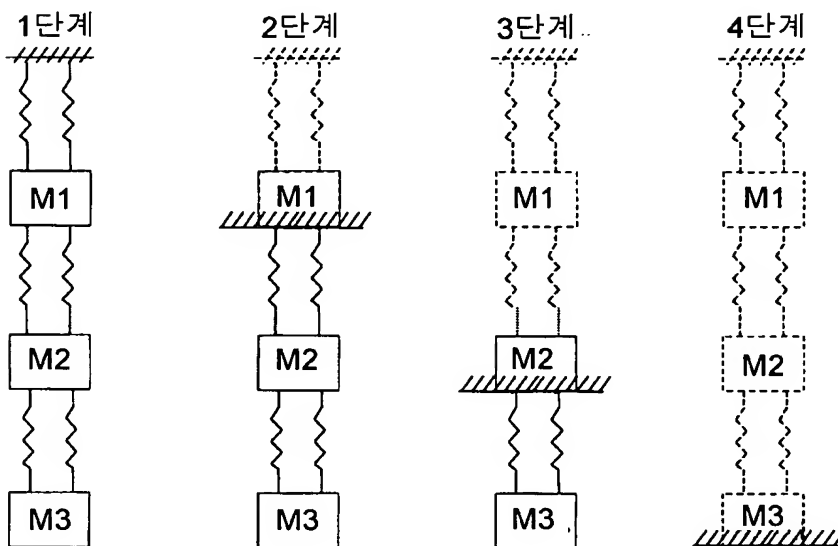


BEST AVAILABLE COPY

【도 7】

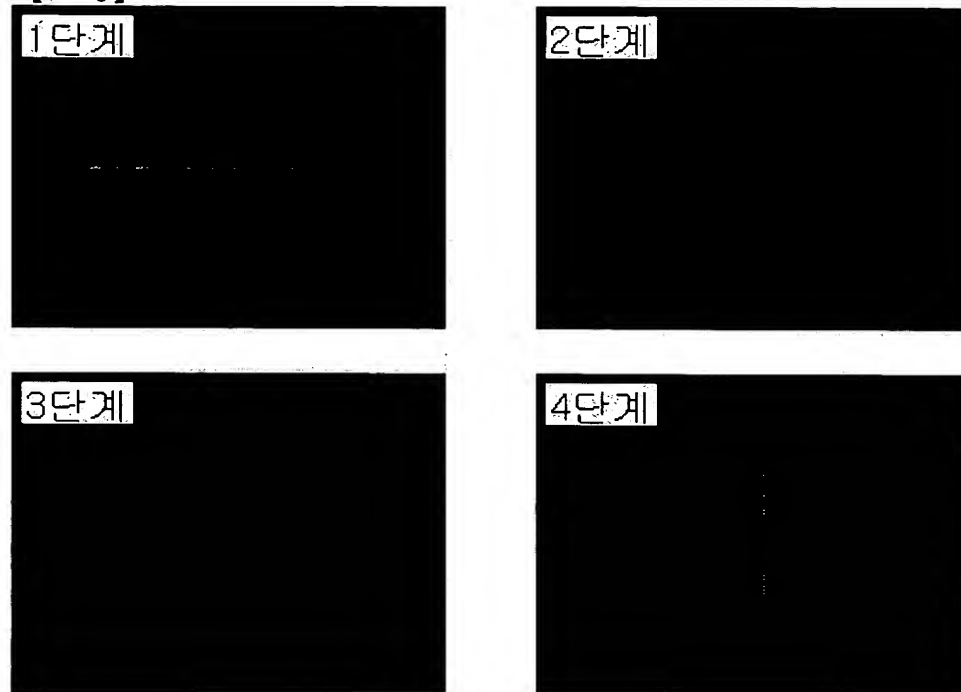


【도 8】

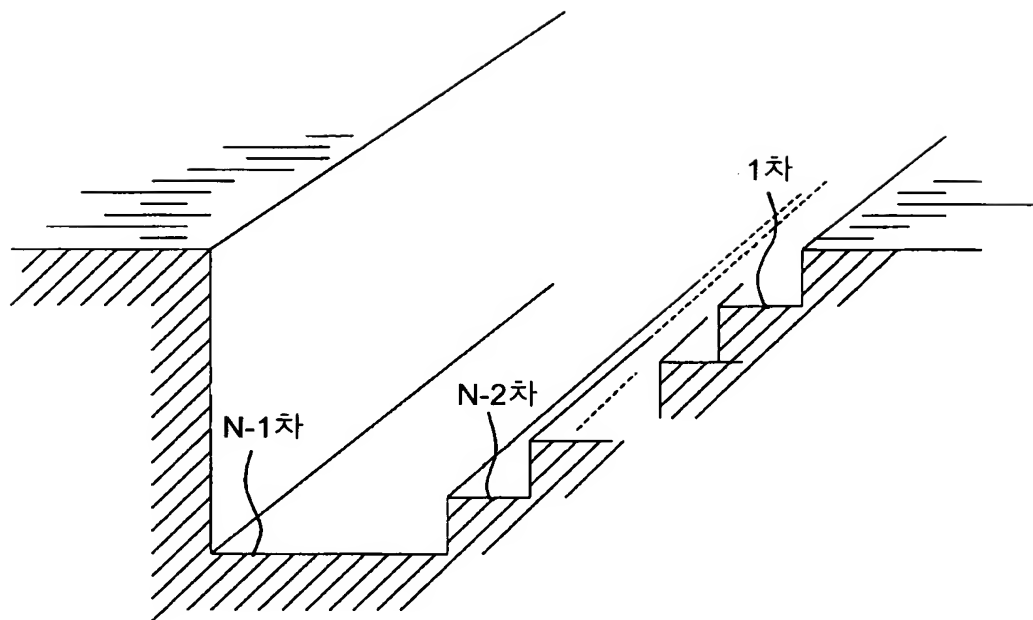


BEST AVAILABLE COPY

【도 9】

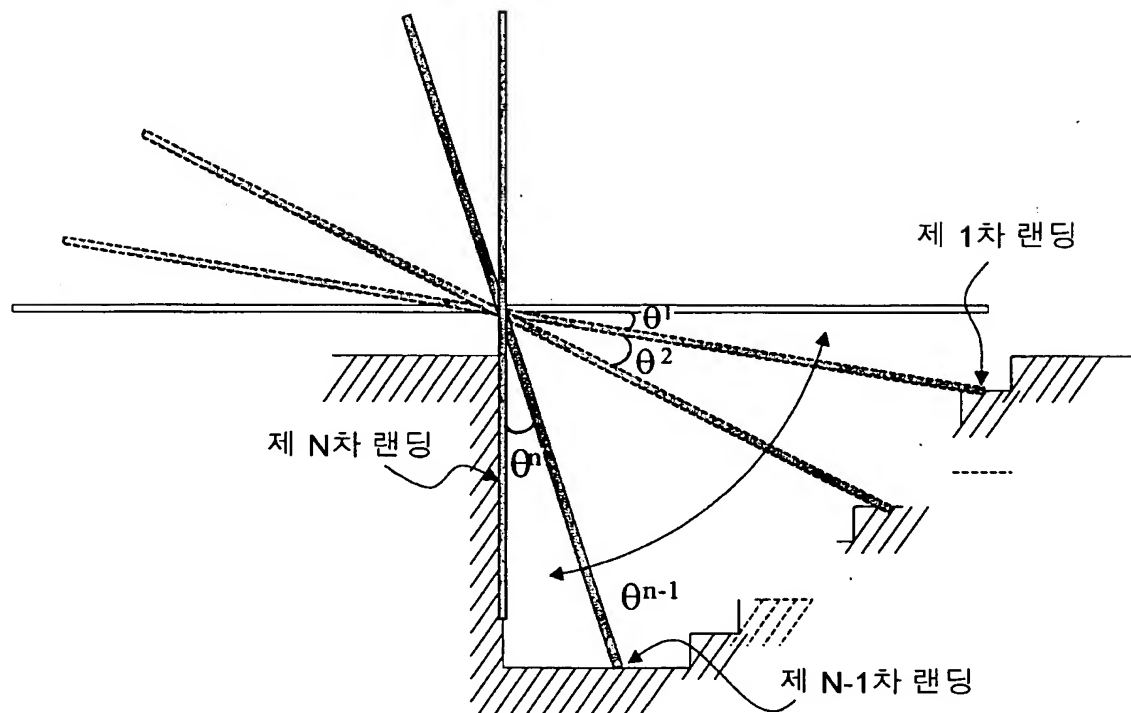


【도 10】



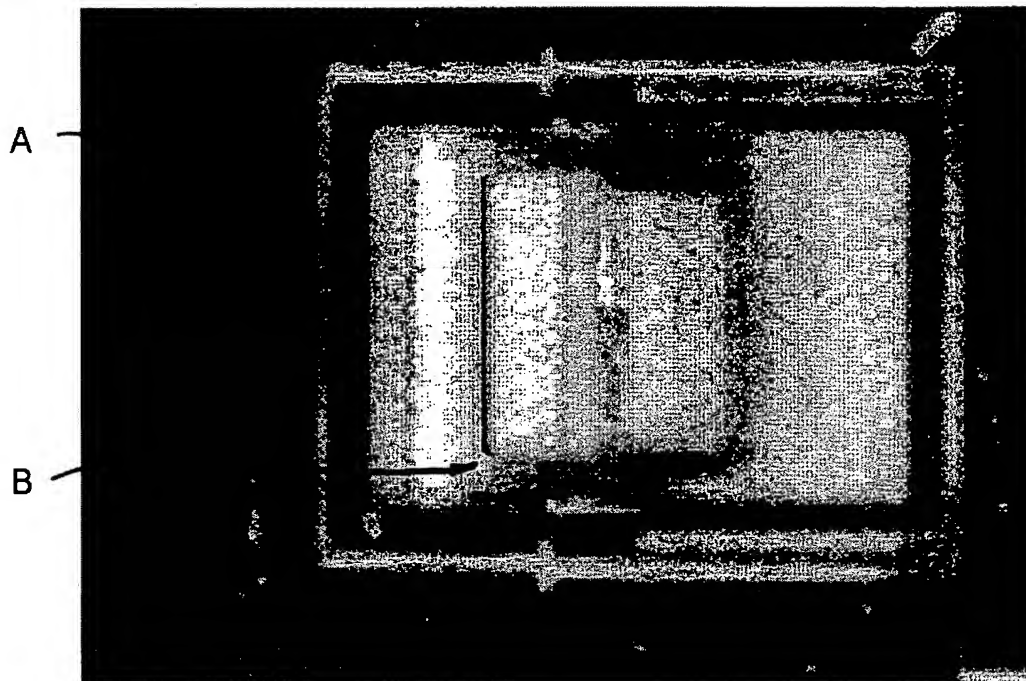
BEST AVAILABLE COPY

【도 11】

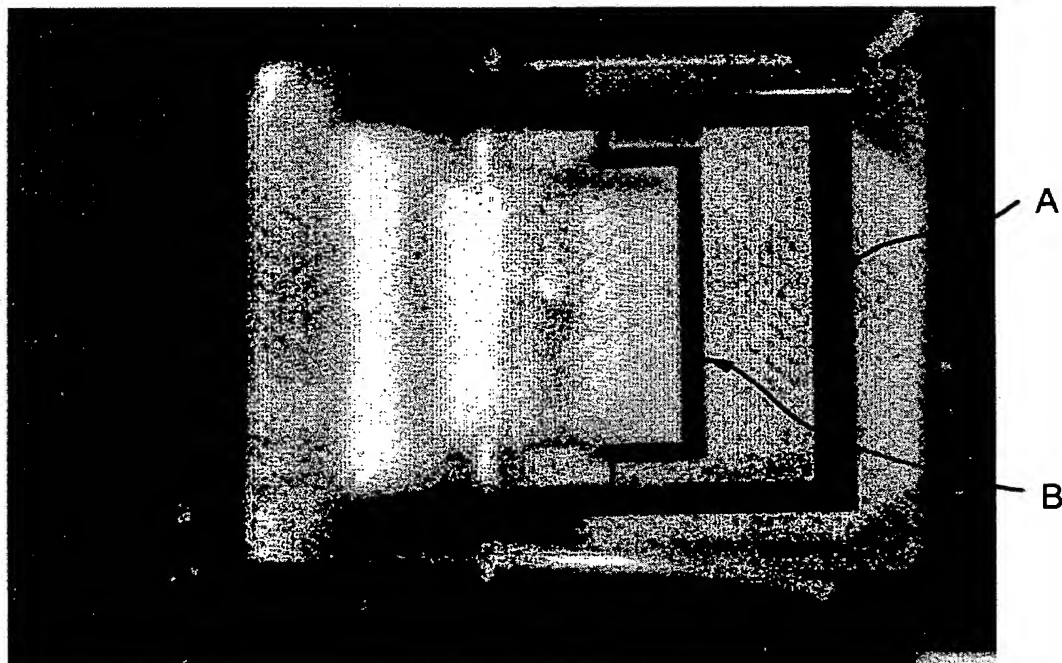


BEST AVAILABLE COPY

【도 12】



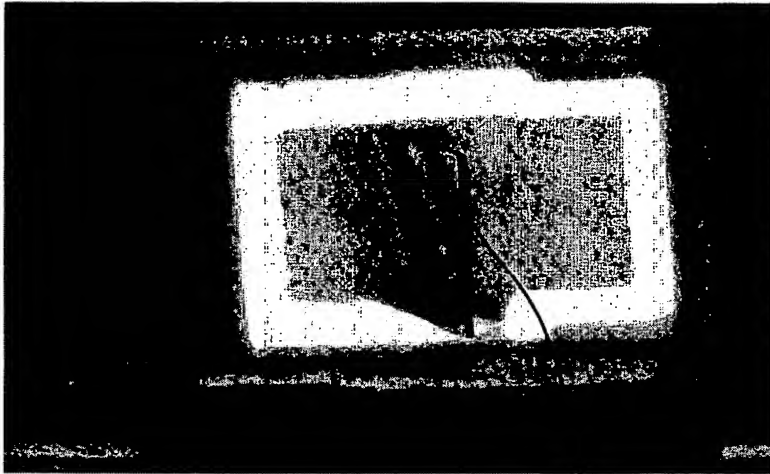
【도 13】



BEST AVAILABLE COPY



【도 14】



C

BEST AVAILABLE COPY